УДК 637.3

НОВЫЕ НАУКОЕМКИЕ ПРИЕМЫ ОЦЕНКИ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В СЫРОДЕЛИИ: ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СВЕРТЫВАНИЯ МОЛОКА И ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ СГУСТКА

А.А. Майоров*, Ю.А. Сиденко, О.Н. Мусина

ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия»,
656016, Россия, г. Барнаул, ул. Советской Армии, 66

**e-mail: sibniis.altai@mail.ru*

Дата поступления в редакцию: 24.04.2017
Дата принятия в печать: 29.05.2017

Аннотация. Важным технологическим этапом выработки сыра является этап свертывания молочной смеси. Особенности формирования сгустка влияют на выбор режимов выработки сырного зерна и определяют качество готового продукта. В Сибирском научно-исследовательском институте сыроделия (СибНИИС) разработаны два прибора и две оригинальные методики, позволяющие реализовать наблюдение за процессами свертывания молока и формирования реологических характеристик сгустков. Методики предусматривает исследование динамики свертывания молока, измерение реологических характеристик полученного сгустка (прочности и упругости). Первая методика и прибор предназначены для исследований влияния режимов свертывания молочных смесей и режимов обработки сырного зерна. Достоинством метода является возможность получения неразрушенного сгустка в емкости, которую затем перемещают в прибор для измерения предела прочности. Прибор позволяет проводить параллельные опыты на одном образце молоке, меняя другие факторы (дозы фермента, уровень кислотности, массовую долю сухих веществ). Второй прибор предназначен для измерения предела прочности и представляет собой модернизированный вариант реоконсистометра. Предел прочности сырного сгустка отражает его технологические свойства и коррелирует с потерями сырной массы при выработке сырного зерна. Установлено путем анализа динамики формирования реологических характеристик сгустков, что предел прочности не всегда является функцией времени: в целом ряде случаев наблюдаются локальные экстремумы. Это явление зависит от вида применяемого молокосвертывающего фермента, белкового состава молока, от концентрации и состояния ионов кальция, наличия ингибирующих веществ в молоке. Методики СибНИИС дают возможность скорректировать технологические приемы на ранних стадиях выработки сыра, уточнить водосвязывающие свойства сырной массы, степень потерь компонентов молока. Приборы и методики наиболее эффективно могут быть применены при разработке технологий выработки сыров из смесей с использованием сухих и сгущенных компонентов.

Ключевые слова. Сыроделие, реологические свойства, сгусток, динамика свертывания молока, прочность, упругость

NEW HIGH-TECH METHODS OF RHEOLOGICAL PROPERTIES EVALUATION IN CHEESEMAKING: STUDY OF MILK COAGULATION AND FORMATION OF CHEESE CURD STRUCTURE

A.A. Mayorov*, Yu.A. Sidenko, O.N. Musina

Siberian Research Institute of Cheese Making,
66, Sovetskoi Armii Str., Barnaul, 656016, Russia

**e-mail: sibniis.altai@mail.ru*

Received: 24.04.2017
Accepted: 29.05.2017

Abstract. The coagulation of milk mixture is an important technological stage of cheese-making. Peculiar features of curd formation affect the choice of cheese-making conditions and determine the quality of cheese. At the Siberian Research Institute of Cheese-making two instruments and two methods allowing monitoring of milk coagulation process and rheological properties of curd formation have been developed. The methods allow us to investigate the dynamics of milk coagulation and to measure the rheological characteristics of the curd (strength and elasticity). The first method and the instrument are designed to study the effect of conditions of milk mixture coagulation and curd treatment. The advantage of this method is the possibility of obtaining undistorted curd in the vessel which is then transferred to the device for measuring strength tensile. The device allows making comparative experiments on the same milk sample changing the factors (dose of enzyme, pH, and mass fraction of solids). The second instrument is a modernized version of a reconciler and has been designed to measure the ultimate strength. The ultimate strength of cheese curd reflects its technological properties and correlates with the loss of the cheese mass in the development of cheese curd. Analyzing the dynamics of formation of curd rheological characteristics it has been established that ultimate strength is not always a function of time: in many cases local extremes are observed. This phenomenon depends on the kind of milk coagulating enzyme, the protein composition of milk, the concentration and the state of calcium ions, the presence of inhibitory substances in milk. The developed methods make enable us to adjust processing at early stages of cheese-making, to specify binding properties of the cheese mass and the losses of milk components. The instruments and methods can be used more effectively when making cheese from mixtures which include dry and condensed components.

Keywords. Cheesemaking, rheological characteristics, cheese curd, dynamics of milk coagulation, strength, elasticity

Введение

Основным направлением научно технического прогресса в пищевой промышленности является развитие технологий, повышающих эффективность производственных процессов, что в свою очередь ведет к повышению производительности труда и экономии материальных ресурсов. Для разработки прогрессивных технологических решений необходимо изучение реологических свойств обрабатываемых продуктов, что особенно важно для продуктов с неньютоновскими свойствами [1, 2]. Реология рассматривает процессы, связанные с необратимыми остаточными деформациями и течением разнообразных вязких и пластических материалов, а также явления релаксации напряжений, упругого последействия и т.д. Экспериментальная реология (реометрия) изучает различные структурно-механические свойства тел с помощью специальных приборов и устройств [3, 4]. Дебон и соавторы изучали реологические свойства сквашиваемого молока с помощью ротационного вискозиметра, при этом продукт продемонстрировал ярко выраженные неньютоновские свойства, переходящие в ньютоновские при высоких скоростях сдвига. Схожие зависимости можно наблюдать в работах Н.Г. Острецовой и А.В. Чекалева, проводивших исследования реологических свойств белковых сгустков [5]. К важнейшим физическим свойствам сыра относятся реологические свойства: текучесть, вязкость, прочность, упругость. Консистенцию сыра можно описывать совокупностью реологических параметров, имеющих точный физический смысл: модуля упругости, вязкости, времени релаксации и т.д. С точки зрения реологии, сыр представляет собой вязкопластично-упругое тело [1–5].

Основными элементами, участвующими в процессе образования структуры сыров, являются белки. Именно их взаимодействию обязано изменение структурно-механических свойств смесей. Схематично процесс коагуляции протекает по схеме, при которой вначале белки подвергаются воздействию ферментов или ионов солей. При этом белки меняют свое конформационное состояние, соединяясь друг с другом и образуя конгломераты. Эта стадия практически не меняет внешнего вида смеси, подвергающейся коагуляции, и ее называют скрытой стадией. На второй стадии, когда размеры образовавшихся конгломератов превышают критические значения, наступает этап структурообразования, при котором образуется золь, постепенно переходящий в гель. В большинстве случаев эти системы не обладают свойством тиксотропии, т.е. не восстанавливают структуры при ее разрушении. Однако первичная тиксотропия (образование внутренней структуры) обязательно наличествует, и об этом говорит резкое изменение структурно-механических свойств после коагуляции. Система приобретает целый ряд свойств, характерных для твердых и структурированых систем. При коагуляции белков животного происхождения под влиянием свертывающих ферментов в сгусток переходит большая часть казеина и часть сывороточных белков. При этом большая часть жировых шариков захватывается белковой структурой. В сыворотке остается незначительная часть сывороточных белков и углеводы, которые в основном представлены молочным сахаром (лактозой). При кислотной коагуляции общий механизм остается прежним, однако коэффициенты перехода уже будут другие. Для описания стадий процесса коагуляции можно использовать математический аппарат, применяемый при анализе цепей Маркова. При этом технологический процесс коагуляции рассматривается как цепь перехода компонентов из одного состояния в другое. Переход из одного состояния в другое характеризуется физико-химическими свойствами как среды, так и самого компонента. Общая схема коагуляции молочной смеси может быть представлена схематично (рис. 1). Исходная смесь, подвергаемая свертыванию, на первой стадии испытывает воздействие первого комплекса факторов КФ1. В результате этого воздействия происходит осаждение коагулянта КГ1, а исходная смесь переходит в состояние СС1 из СС0 (состояние смеси). На второй стадии смесь СС1 под воздействием факторов КФ2 происходит образование коагулянта КГ2 и смесь переходит в состояние СС1. На последующих стадиях на смесь воздействуют комплексы факторов КФi. Эффективность процесса коагуляции в целом можно оценить по отношению массовых долей сухих веществ в исходной смеси и полученных коагулянтах [6, 7].

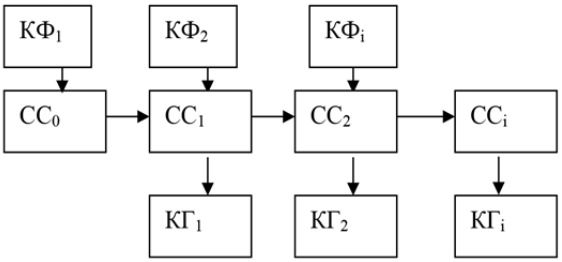

Рис. 1. Общая схема коагуляции исходной смеси

Большой научный и практический интерес представляет исследование реологических свойств сгустка неразрушающими методами и получение данных о динамике свертывания молока (молочной смеси) в ходе технологического процесса выработки сыра, поскольку в сыроделии важнейшим технологическим этапом получения сыра является этап свертывание молока или молочной смеси [8–10]. Динамика формирования сгустка влияет на выбор режимов при выработке сырного зерна и определяет качество сыра. Оценка влияния применяемых ингредиентов и коррекция режимов свертывания имеет первостепенное значение в технологическом процессе производства сыра. На формирование реологических свойств сгустка оказывает влияние целый ряд факторов, среди которых наибольшее значение имеют: качество молока, доза и тип молокосвертывающего фермента и закваски, количество ионов кальция, температура свертывания, исходная кислотность молока (смеси) и другие. Кроме продолжительности свертывания молока влияние на качество сыра оказывает и характер

формирования сгустка, из которого в дальнейшем вырабатывают сырное зерно.

Непрерывный контроль реологических свойств молочной смеси по ходу технологического процесса выработки сыра намного точнее и объективнее отражает ход этого процесса, чем дискретный лабораторный контроль структурно-механических свойств смеси и сгустка на входе, выходе и промежуточных фазах [11]. Изменение реологических свойств молочной смеси дает возможность судить о начале, окончании, скорости и направленности технологического процесса [12, 13]. Для оценки преимуществ или недостатков того или иного технологического процесса в сыроделии необходимо его корректное исследование. Преимущества одного технологического процесса в сравнении с другим можно оценивать по различным показателям: выходу из единицы сырья, потерям сырья при производстве, органолептическим показателям, трудоемкости и энергоемкости, сроку годности и т.д. На этапе свертывания молока важным показателем эффективности является расход молокосвертывающего фермента, поскольку цена его весьма высока. Решение о целесообразности применения тех или иных компонентов (ингредиентов), режимов, операций на практике зачастую приходится принимать в условиях информационной неопределенности. При этом необходимо учесть комплекс показателей, включающих продолжительность процесса выработки сырной массы, потери белка и жира, массовую долю влаги в продукте и др. Для принятия обоснованного решения необходимо проведение многочисленных экспериментов (пробных варок), позволяющих получить достоверные результаты. Такой подход требует значительных ресурсов времени и расходных материалов.

Существующие приборы для оценки формирования реологических показателей сгустка не дают возможности оценить динамику процессов. Тромбоэластографы и коагулографы не позволяют получить достаточное количество информации, поскольку сгусток, формирующийся в измерительных ячейках, частично или полностью разрушается инденторами. Поэтому исследователь не получает достоверной картины формирования структуры сгустка [14].

Целью работы является разработка приборов и методик, позволяющих оценивать реологические показатели сырного сгустка в динамике.

Объекты и методы исследования

Для проведения исследований процессов свертывания молока и формирования реологических характеристик сгустков в «Сибирском научно-исследовательском институте сыроделия» (СибНИИС) разработаны два прибора и две методики, позволяющие реализовать наблюдение за этими процессами. Методики предусматривают исследование динамики свертывания молока, измерение реологических характеристик полученного сгустка (прочности и упругости). При реализации методик последовательно проводят свертывание молока (смеси), регистрируя динамику изменения процесса свертывания неразрушающим методом, и измеряют предел прочности полученного сгустка. Параллельно можно проводить пять опытов.

Результаты и их обсуждение

Первая методика и прибор предназначены для исследований режимов свертывания молочных смесей и режимов обработки сырного зерна. Прибор фиксирует отклонение лазерного луча, отраженного от поверхности исследуемой молочной смеси. Схема прибора для исследования процесса свертывания молочных смесей приведена на рис. 2, общий вид установки – на рис. 3.

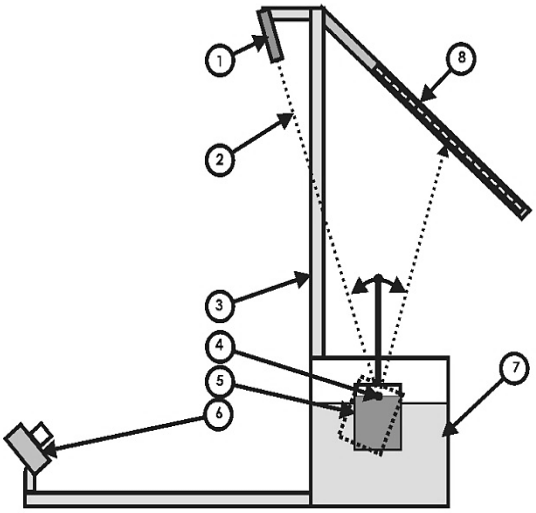

Рис. 2. Схема прибора для исследования процесса свертывания молочных смесей: 1 – лазер, 2 – луч лазера, 3 – стойка, 4 – подвижный штатив для стакана, 5 – стакан со смесью, 6 – видеокамера, 7 – жидкостный термостат, 8 – экран

Прибор состоит из термостатируемой емкости, в которой располагается цилиндр, заполненный до заданного уровня исследуемой смесью. Можно изменять наклон цилиндра относительно уровня жидкости в термостате на строго заданный угол с помощью привода от электродвигателя. На поверхность исследуемого образца направляется луч лазера. Луч, отраженный от поверхности продукта, попадает на градуированный экран. При изменении угла наклона цилиндра с образцом продукта в исходном состоянии положение луча на экране не меняется. При формировании структуры или изменении вязкости поверхность продукта при наклоне цилиндра меняет положение относительно горизонта. При этом положение на шкале луча, отраженного от поверхности образца, изменяется. При изменении положения цилиндра в крайних позициях фиксируется положение отраженного луча на экране с помощью видеокамеры. Это дает возможность анализировать изменение положения поверхности продукта во времени и получать данные о структуре сгустка на различных этапах его формирования. По величине отклонений положений луча на шкале получают график, характеризующий динамику реологических свойств продукта.

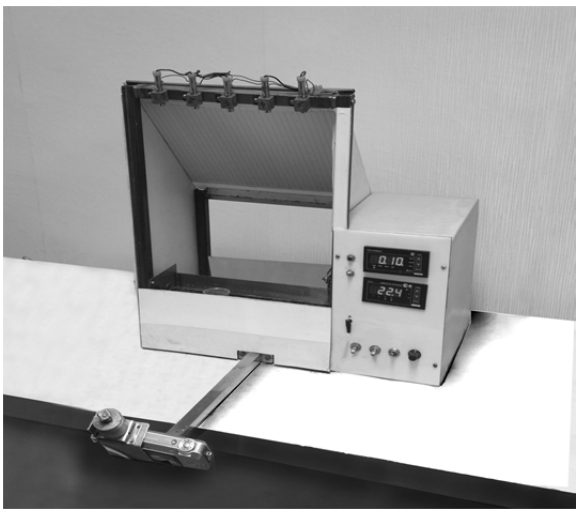

Рис. 3. Общий вид установки для исследования процесса свертывания молочных смесей

Работа с прибором осуществляется следующим образом. Вначале опыта проводят измерение показателей исходной смеси (массовой доли жира, белка, активной и титруемой кислотности, плотности) и разливают образцы смеси в цилиндрические мерные стаканчики вместимостью 100 мл по 100 мл в каждый. Перед заполнением стаканов смесью в них вносят растворы необходимых компонентов, предусмотренные программой проводимого опыта (молокосвертывающий фермент, хлористый кальций и т.п.). Затем наполняют стаканы до метки молочной смесью, перемешивают стеклянной палочкой и устанавливают в подвижную рамку установки для исследования процесса свертывания молока. Установка помещена в термостат и периодически наклоняется на фиксированный угол. Отклонение луча от исходного положения пропорционально уровню образования структуры в смеси под влиянием молокосвертывающего фермента или другого коагулянта. В подвижную (качающуюся) рамку можно одновременно установить до пяти стаканчиков, т.е. параллельно можно проводить 5 опытов. Это могут быть 5 повторностей одного опыта или 5 различных вариантов опытов, проводимых при одной температуре. Опыты проводятся в автоматическом режиме. Результаты фиксируются на CD-карточке или непосредственно передаются на компьютер. Периодичность замеров можно программно изменять. Температуру свертывания можно регулировать в пределах от 25 до 45 °С. Периодичность фиксирования показаний прибора регулируется программно в пределах от 5 до 99 сек.

По полученным данным строят графики, характеризующие динамику процесса свертывания. Пример таких графиков дан на рис. 4: в координатах «время – вязкость» приведены результаты свертывания молочной смеси с пятью различными дозировками молокосвертывающего фермента.

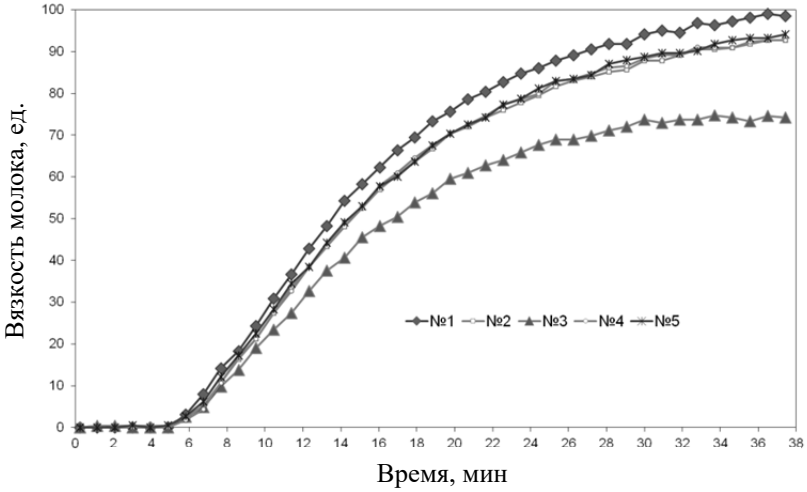

Рис. 4. График динамики свертывания пяти образцов молочных смесей

Достоинством метода является возможность получения неразрушенного сгустка в емкости. Сгусток, образующийся в цилиндре, не разрушается, получается монолитным, в дальнейшем можно определить для него предел прочности, т.е. на одном образце изучить формирование структуры и прочностные характеристики сгустка.

Для повышения производительности прибор снабжен пятью ячейками, в которые можно поместить пять цилиндров с образцами. Установка дает возможность проводить параллельные сравнительные опыты на одном молоке, меняя другие факторы (дозы фермента, уровень кислотности, массовую долю сухих веществ и др.). Прибор может использоваться для исследования активности молокосвертывающих ферментов, сыропригодности молока, оптимальных режимов свертывания.

На следующем этапе измеряют предел прочности полученного сгустка. Предел прочности сырного сгустка отражает его технологические свойства и коррелирует с потерями сырной массы при выработке сырного зерна. Дело в том, что слабый сгусток при выработке сырного зерна дает много так называемой «сырной пыли», мелких частиц сгустка, которые теряются при формовании и снижают выход продукта [15].

Стаканчики (емкости) извлекаются из установки для исследования процесса свертывания молочных

смесей и устанавливаются в прибор для измерения предела прочности (рис. 5). Прибор для измерения предела прочности представляет собой модернизированный вариант реоконсистометра Гепплера [16, 17]. Прибор представляет собой штатив с установленной подвижной кареткой, снабженной датчиком усилия с присоединенным к нему специальным индентором, блока управления и компьютера.

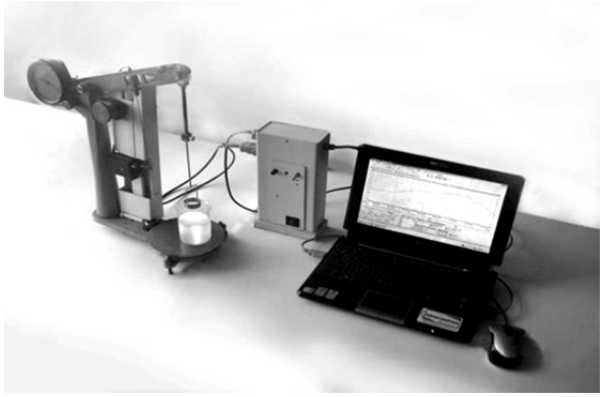

Рис. 5. Прибор для измерения предела прочности сгустка

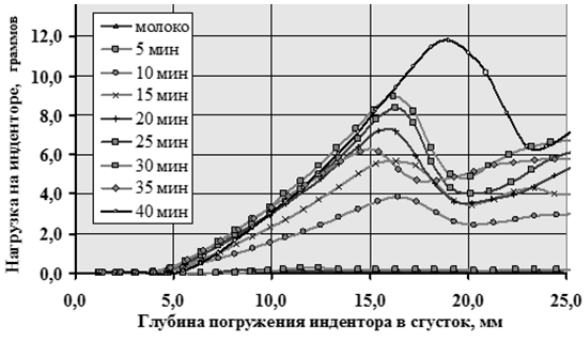

Рис. 6. Кривые нагрузки при измерении предела прочности

В ходе этой серии экспериментов получены графики изменения усилия на индентор при формировании структуры молочного сгустка (рис. 6).

Измерения производились при скорости движения индентора 4 мм/с. Вначале видно плавное нарастание нагрузки до определенного предела, затем резкое снижение нагрузки при превышении предела прочности сгустка. Далее движение индентора происходит со значительно меньшей нагрузкой.

Анализ динамики формирования реологических характеристик сгустков показал, что предел прочности не всегда является функцией времени. Так в целом ряде случаев наблюдаются локальные экстремумы. Это может зависеть от вида конкретно применяемого молокосвертывающего фермента, белкового состава молока, наличия ингибирующих веществ в исходном молоке, а также от концентрации и состояния ионов кальция, которые в целом ряде случаев имеют весьма важное значение [18].

В дальнейшем, после проведения исследований, полученный сгусток обрабатывают по заданному технологическому процессу с получением сырного зерна, формованием и прессованием. По полученным результатам делают вывод о необходимости внесении корректив в технологию разрабатываемого сыра, проводят расчет выхода сыра исходя из массовых долей сухих веществ в исходном сырье и полученном продукте.

Таким образом, установлено путем анализа динамики формирования реологических характеристик сгустков, что предел прочности не всегда является функцией времени: в целом ряде случаев наблюдаются локальные экстремумы. Это явление зависит от вида применяемого молокосвертывающего фермента, белкового состава молока, от концентрации и состояния ионов кальция, наличия ингибирующих веществ в молоке. Оборудование, приборы и методики, разработанные в СибНИИС [19], дают возможность скорректировать технологические приемы на ранних стадиях выработки сыра, уточнить водосвязывающие свойства сырной массы, степень потерь компонентов молока. Приборы и методики наиболее эффективно могут быть применены при разработке технологий выработки сыров из смесей с использованием сухих и сгущенных компонентов.

Список литературы

1. Круподеров, А.Ю. Реологические характеристики аномально вязких пищевых продуктов и других сред / А.Ю. Круподеров, Л.К. Николаев, А.В. Кузнецов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». – 2014. – № 4. – С. 96–106.

2. Karlsson, A.O. Rheological properties and microstructure during rennet induced coagulation of UF concentrated skim milk / A.O. Karlsson, R. Ipsen, Y. Ardö // International Dairy Journal. – 2007. – Vol. 17, Issue 6. – P. 674–682.

3. Impact of thermo-mechanical treatments on composition, solids loss, microstructure, and rheological properties of pasta filata–type cheese / Vincent Banville, Denise Chabot, Nelson Power, Yves Pouliot, Michel Britten // International Dairy Journal. – 2016. – Vol. 61. – P. 155–165.

4. Effect of carrageenan on the formation of rennet-induced casein micelle gels / Fang Wang, Xianting Liu, Yanan Hu, Jie Luo, Xin Lv, Huiyuan Guo, Fazheng Ren // Food Hydrocolloids. – 2014. – Vol. 36 – P. 212–219.

5. Lu, Y. Vollmer. Investigating rennet coagulation properties of recombined highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making / Y. Lu, D.J. McMahon, A.H. // Journal of Dairy Science. – 2017. – Vol. 100, Issue 2. – P. 892–900.

6. Майоров, А.А. Моделирование коагуляции молочно-растительных смесей / А.А. Майоров, И.М. Мироненко, О.М. Булгакова // Актуальные проблемы техники и технологии переработки молока. – 2007. – Вып. 2. – С. 22 Y. Lu, 24

7. Мусина, О.Н. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания / О.Н. Мусина, П.А. Лисин // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – Т. 4. – № 27. – С. 32–37.

8. Лисин, П.А. Структурно-механическая и термодинамическая характеристика биойогурта / П.А. Лисин, О.Н. Мусина, И.В. Кистер // Техника и технология пищевых производств. – 2014. – № 1. – С. 54–59.

9. Растительные пищевые композиты полифункционального назначения / К.Л. Коновалов, М.Т. Шулбаева, А.И. Лосева, О.Н. Мусина // Пищевая промышленность. – 2010. – № 7. – С. 8–11.

10. Мусина, О.Н. Формула молочно-зерновых продуктов / О.Н. Мусина // Молочная промышленность. – 2011. – № 5. – С. 70–71.

11. Use of shear wave elastography for monitoring enzymatic milk coagulation / E. Budelli, M. Bernal, P. Lema, M. Fink, C. Negreira, M. Tanter, J.L. Gennisson // Journal of Food Engineering. – 2014. – Vol. 136. – P. 73–79.

12. Coagulation properties of ultrafiltered milk retentates measured using rheology and diffusing wave spectroscopy Sandra Sandra, Christina Cooper, Marcela Alexander, Milena Corredig // Food Research International. – 2011. – Vol. 44, Issue 4. – P. 951–956.

13. Feunteun, Steven Le. The rennet coagulation mechanisms of a concentrated casein suspension as observed by PFG-NMR diffusion measurements / Steven Le Feunteun, Minale Ouethrani, François Mariette // Food Hydrocolloids. – 2012. – Vol. 27, Issue 2. – P. 456–463.

14. Архипов, А.Н. Структурообразование молочных продуктов / А.Н. Архипов, А.А. Майоров // Молочная промышленность. – 2012. – № 2. – С. 74.

15. Майоров, А.А. Формирование структурно-механических свойств сыра / А.А. Майоров, Е.А. Николаева. – Барнаул: Азбука, 2007. – 223 с.

16. Раманаускас, Р.И. Избранные главы физической химии сыроделия / Р.И. Раманаускас. – Каунас: Технология, 2004. – 142 с.

17. Раманаускас, Р.И. Физико-химические аспекты применения молочно-белковых концентратов в сыроделии / Р.И. Раманаускас. – Каунас: Технология, 2005. – 106 с.

18. Роль кальция при переработке молока / И. М. Мироненко, Е. В. Чорей, Р. В. Жарков, М. В. Сухоруков // Сыроделие и маслоделие. – 2008. – № 3. – С. 27–28.

19. Майоров, А.А. Оборудование и организация сыроделия: история и современность / А.А. Майоров, О.Н. Мусина. – Барнаул: Азбука, 2016. – 312 с.

References

1. Krupoderov A.Yu., Nikolaev L.K., Kuznetsov A.V. Reologicheskie kharakteristiki anomal'no vyazkikh pishchevykh produktov i drugikh sred [The rheological properties of abnormally viscous food products and other medium]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv».* [Scientific Journal NRU ITMO. Processes and Food Production Equipment], 2014, no. 4, pp. 96–106.

2. Karlsson A.O., Ipsen R., Ardo Y. Rheological properties and microstructure during rennet induced coagulation of UF concentrated skim milk. *International Dairy Journal,* 2007, vol. 17, no. 6, pp. 674–682.

3. Banville V., Chabot D., Power N., Pouliot Y., Britten M. Impact of thermo-mechanical treatments on composition, solids loss, microstructure, and rheological properties of pasta filata–type cheese. *International Dairy Journal*, 2016, vol. 61, pp. 155–165. DOI 10.1016/j.idairyj.2016.05.004.

4. Wang F., Liu X., Hu Ya., Luo J., Lv X., Guo H., Ren F. Effect of carrageenan on the formation of rennet-induced casein micelle gels. *Food Hydrocolloids*, 2014, vol. 36, pp. 212–219. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2013.10.004.

5. Lu Y., McMahon D.J., Vollmer A.H. Investigating rennet coagulation properties of recombined highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making. *Journal of Dairy Science*, 2017, vol. 100, no. 2, pp. 892–900. DOI: 10.3168/jds.2016-11648.

6. Mayorov A.A., Mironenko I.M., Bulgakova O.M Modelirovanie koagulyatsii molochno-rastitel'nykh smesey [Modeling of milk-vegetable mixtures coagulation]. *Aktual'nye problemy tehniki i tehnologii pererabotki moloka* [Actual problems of milk processing technics and technology], 2007, no. 2, pp. 22–24

7. Musina O.N., Lisin P.A. Sistemnoe modelirovanie mnogokomponentnykh produktov pitaniya [System modeling of multi-component foods]. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2012, vol. 4, no. 27, pp. 32–37.

8. Lisin P.A., Musina O.N., Kister I.V. Strukturno-mekhanicheskaya i termodinamicheskaya kharakteristika bioyogurta [Structural-mechanical and thermodynamic characteristics of bio-yoghurt]. *Tehnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv* [Food Processing: Techniques and Technology], 2014, no. 1, pp. 54–59.

9. Konovalov K.L., Shulbaeva M.T., Loseva A.I., Musina O.N. Rastitel'nye pishchevye kompozity polifunktsional'nogo naznacheniya [Edible vegetable composites for multifunctional purpose]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food processing industry], 2010, no. 7, pp. 8–11.

10. Musina O.N. Formula molochno-zernovykh produktov [Formula of milk-cereal products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2011, no. 5, pp. 70–71.

11. Budelli E., Bernal M., Lema P., Fink M., Negreira C., Tanter M., Gennisson J.L. Use of shear wave elastography for monitoring enzymatic milk coagulation. *Journal of Food Engineering*, 2014, vol. 136, pp. 73–79. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2014.03.026.

12. Sandra S., Cooper C., Alexander M., Corredig M. Coagulation properties of ultrafiltered milk retentates measured using rheology and diffusing wave spectroscopy. *Food Research International*, 2011, vol. 44, no. 4, pp. 951–956, DOI: 10.1016/j.foodres.2011.02.018.

13. Feunteun S., Ouethrani M., Mariette F. The rennet coagulation mechanisms of a concentrated casein suspension as observed by PFG-NMR diffusion measurements. *Food Hydrocolloids*, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 456–463. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2011.09.008.

14. Arkhipov A.N., Mayorov A.A. Strukturoobrazovanie molochnykh produktov [Structure formation of dairy products]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2012, no. 2, p. 74.

15. Mayorov A.A., Nikolaeva E.A. *Formirovanie strukturno-mekhanicheskikh svoystv syra* [The formation of structural-mechanical properties of cheese]. Barnaul: Azbuka Publ., 2007. 223 p.

16. Ramanauskas R.I. *Izbrannye glavy fizicheskoy khimii syrodeliya* [Selected chapters of physical chemistry of cheesemaking]. Kaunas: Tekhnologiya Publ., 2004. 142 p.

17. Ramanauskas R.I. *Fiziko-khimicheskie aspekty primeneniya molochno-belkovykh kontsentratov v syrodelii* [Physico-chemical aspects of the use of milk protein concentrates in cheese making]. Kaunas: Tekhnologiya Publ., 2005. 106 p.

18. Mironenko I.M., Chorey E.V., Zharkov R.V., Sukhorukov M.V. Rol' kal'tsiya pri pererabotke moloka [The role of calcium for milk processing]. *Syrodelie i maslodelie* [Cheesemaking and buttermaking], 2008, no. 3, pp. 27–28.

19. Mayorov A.A., Musina O.N. *Oborudovanie i organizatsiya syrodeliya: istoriya i sovremennost'* [Equipment and organization of cheesemaking: history and modernity]. Barnaul: Azbuka Publ., 2016. 312 p.

Дополнительная информация / Additional Information

Майоров, А.А. Новые наукоемкие приемы оценки реологических свойств в сыроделии: изучение процессов свертывания молока и формирования структуры сгустка / А.А. Майоров, Ю.А. Сиденко, О.Н. Мусина // Техника и технология пищевых производств. – 2017. – Т. 45. – № 2. – С. 55–61.

Mayorov A.A., Sidenko Yu.A., Musina O.N. New high-tech methods of rheological properties evaluation in cheesemaking: study of milk coagulation and formation of cheese curd structure. *Food Processing: Techniques and Technology,* 2017, vol. 45, no. 2, pp. 55–61 (in Russ.).

Майоров Александр Альбертович
д-р техн. наук, профессор, директор, ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия», 656016, Россия, г. Барнаул, ул. Советской Армии, 66,
тел.: +7 (3852) 564-526, e-mail: sibniis.altai@mail.ru

Сиденко Юрий Александрович
младший научный сотрудник лаборатории технологии молочных продуктов, ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия», 656016, Россия, г. Барнаул, ул. Советской Армии, 66,
тел.: +7 (3852) 564-526, e-mail: sibniis.altai@mail.ru

Мусина Ольга Николаевна
канд. техн. наук, доцент, ученый секретарь, заведующая сектором научно-технического анализа, ФГБНУ «Сибирский научно-исследовательский институт сыроделия», 656016, Россия, г. Барнаул, ул. Советской Армии, 66,
тел.: +7 (3852) 56-46-12, e-mail: sibniis.altai@mail.ru

Alexander A. Mayorov
Dr.Sci.(Eng.), Professor, Director, Siberian Research Institute of Cheese Making, 66, Sovetskoi Armii Str., Barnaul, 656016, Russia, phone: +7 (3852) 564-526, e-mail: sibniis.altai@mail.ru

Yuriy A. Sidenko
Junior researcher of the laboratory of technology of dairy products, Siberian Research Institute of Cheese Making, 66, Sovetskoi Armii Str., Barnaul, 656016, Russia,
phone: +7 (3852) 564-526, e-mail: sibniis.altai@mail.ru

Olga N. Musina
Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Head of the Scientific Information' Analyses Department, Siberian Research Institute of Cheese Making, 66, Sovetskoi Armii Str., Barnaul, 656016, Russia, phone: +7 (3852) 564-526, e-mail: sibniis.altai@mail.ru